

## B E S C H R E I B U N G

5

### Verfahren und Vorrichtung zur Herstellung von Korpuskularstrahlssystemen

- 10 Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Herstellung von Korpuskularstrahlssystemen gemäß der im Anspruch 1 angegebenen Art und eine entsprechende Vorrichtung gemäß der im Anspruch 20 angegebenen Art.
- 15 Korpuskularstrahlssysteme umfassen insbesondere Elektronenstrahl- oder Ionenstrahlssysteme. Im folgenden werden beispielhaft Elektronenstrahlssysteme, deren Anwendungen und Nachteile erläutert. Dies ist jedoch nicht einschränkend zu verstehen. Vielmehr gelten die
- 20 folgenden Erläuterungen ebenso für andere Korpuskularstrahlssysteme wie beispielsweise die erwähnten Ionenstrahlssysteme.
- Elektronenstrahlssysteme werden beispielsweise in der
- 25 Halbleitertechnologie, Nanoanalytik, Bio-Nano-Physik, Mikro-Optik und Nano-Elektronik eingesetzt. Sie können insbesondere zur Herstellung von Nanostrukturen wie zum Beispiel der Elektronenstrahl-induzierten lithographischen Nanostrukturierung von Oberflächen
- 30 angewandt werden. Ionen- und Elektronenstrahlssysteme werden auch zur Reparatur von Photomasken, phasenschiebenden Photomasken und NGL-Masken für die Halbleiterindustrie verwendet. Mit Elektronenstrahlen können auch integrierte Schaltungen direkt auf einen

Halbleiterwafer geschrieben und auch dort repariert  
werden. Vorzugsweise wird dies bei integrierten  
Schaltungen mit Strukturabmessungen im nm-Bereich  
praktiziert, wo die bisher eingesetzte Optische und  
5 Ionenstrahl-Lithographie an physikalische Grenzen  
stößt.

Ein Elektronenstrahlsystem umfasst eine Vielzahl von  
elektronischen Komponenten, wie beispielsweise eine  
10 Strahlstromstabilisierung, eine Strahlablenkung, eine  
Fokussierungsautomatik mit Hilfe von programmierten  
Sequenzen, eine Elektronenstrahl-Ablenkung und -  
Verstärkung und eine Sekundärelektronenstrahl-  
verstärkung. Diese Komponenten werden bisher  
15 überwiegend in Form von Einzelplatinen mit diskreten  
Schaltkreisen aufgebaut, die derart programmierbar  
sind, dass die vorgenannten Funktionen ausgeführt  
werden können.

20 Um Elektronenstrahlsysteme zu verkleinern, ist es  
bekannt, Einzelelemente von Elektronenstrahlsystemen  
mittels Elektronenstrahl-induzierter Deposition  
aufzubauen, wie beispielsweise der Aufbau von  
Feldelektronenemittern, Feldemissionskathoden mit  
25 Extraktor und Fokussierlinsen sowie von Drahtlinsen  
für eine elektrostatische Fokussierung und Ablenkung.  
Die Herstellung einer elektrostatischen Miniaturlinse  
mittels Elektronenstrahl-induzierter Deposition ist  
beispielsweise in der DE 44 35 043 A1 beschrieben. Aus  
30 der DE 44 16 597 A1 ist es bekannt, für einen flachen  
Farbbildschirm parallel eine Vielzahl mikro-  
miniaturisierter Elektronenstrahl-Emittersysteme mit  
Hilfe einer korpuskularstrahlinduzierten Deposition  
auf einem mit Leiterbahnen konventionell  
35 strukturierten Grundmaterial aufzubringen.

Zur Miniaturisierung wurden Elektronenstrahlsysteme auch aus mechanischen Einzelteilen zusammengebaut, die aber nicht mit einer kalten Feldelektronenemission, sondern einer heißen Elektronenemission betrieben werden. Mittlerweile wurde auch damit begonnen, miniaturisierte Elektronenstrahlsäulen zu bauen. Verschiedene Forschungsgruppen beschäftigen sich auch damit, Elektronenquellen aus Kohlenstoff-Nanoröhren und anderen Emittern, wie z.B. dotierte Siliziumspitzen mit transistorgesteuertem Emissionsstrom aufzubauen, die auf einem Halbleiterchip in einer Prozessschrittfolge hergestellt werden.

15    Nachteilig an den vorgenannten Verfahren ist jedoch, dass die Erzeugung einer Vielzahl von miniaturisierten Korpuskularstrahlsystemen sehr lange dauert, d.h. eine sehr lange Produktionszeit benötigt, da jedes System einzeln sukzessive aufgebaut bzw. erzeugt wird.

20    Nachteilig ist auch, dass die Herstellungsprozessschritte der Halbleiterfertigung so großen Toleranzen unterliegen, dass eine gleichartige Emissionscharakteristik der Feldemitter nicht erreicht wird.

25    Aus der DE 196 09 234 A1 ist ein gattungsgemäßes Verfahren zur Herstellung von Korpuskularstrahlsystemen sowie eine Vorrichtung zur Herstellung von Korpuskularstrahlsystemen bekannt. Die Vorrichtung besteht dabei aus einer oder mehreren parallel

30    geschalteten Feldemissions- oder Feldionisation-Katoden für Elektroden oder Ionen, einer Gitterelektrode mit einer oder mehreren ringförmigen Öffnungen und einer oder mehreren Anoden. Alle Elektroden werden mit Hilfe der Korpuskularstrahl-Litographie mit indizierter

35    Deposition nacheinander oder gleichzeitig auf einer die

Spannungen zuführenden planaren Leiterbahnstruktur  
aufgebaut. Der Elektrodenabstand wird dabei so klein  
gewählt, dass im Mittel nur eine mittlere freie  
Weglänge der Moleküle bei Normaldruck zwischen die  
5 Emitter und Anoden-Elektrode passt. Mit der  
Korpuskularstrahl-indizierten Deposition können  
leitfähige und isolierende Drähte in der Ebene und im  
Raum aufgebaut werden. Mit der Deposition, die Rechner  
gesteuert abläuft, werden also dreidimensionale  
10 Strukturen hergestellt, die als Elektrode für Mikro-  
Röhren und Röhrensysteme dienen, die einzelne Strahlen  
erzeugen, oder die vielfach nebeneinander hergestellt  
werden können.

15 Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es, ein  
Verfahren zur Herstellung von  
Korpuskularstrahlssystemen und eine entsprechende  
Vorrichtung anzugeben, welche den Aufbau einer  
Vielzahl von miniaturisierten  
20 Korpuskularstrahlssystemen in kürzerer Zeit  
ermöglichen.

Diese Aufgabe wird durch ein Verfahren zur Herstellung  
von Korpuskularstrahlssystemen mit den Merkmalen nach  
25 Anspruch 1 und durch eine entsprechende Vorrichtung  
mit den Merkmalen nach Anspruch 20 gelöst. Bevorzugte  
Ausgestaltungen der Erfindung ergeben sich aus den  
abhängigen Ansprüchen.

30 Ein wesentlicher Gedanke der Erfindung besteht darin,  
eine große Anzahl von miniaturisierten  
Korpuskularstrahlssystemen durch eine Art  
Selbstreproduktion zu ermöglichen. Dies kann dadurch  
erreicht werden, dass bereits erzeugte  
35 Korpuskularstrahlssysteme zum Erzeugen weiterer

Korpuskularstrahlssysteme mittels  
korpuskularstrahlinduzierter Deposition eingesetzt  
werden.

5      Beispielsweise können gemäß der Erfindung mit Hilfe  
der Elektronenstrahl-induzierten Deposition unter  
Rechnerführung miniaturisierte Elektronenstrahlssysteme  
in großer Zahl hergestellt werden. Als Basis und  
Grundlage kann hierbei eine durch Lithographie in  
10      VLSI-Technik hergestellte Grundsaltung dienen, in  
welche hinein mit der Elektronenstrahl-induzierten  
Deposition die Funktionselemente für ein weiteres  
miniaturisiertes Elektronenstrahlssystem aufgebaut  
werden. Dieses miniaturisierte System wird dann,  
15      nachdem es eine Funktionsprüfung bestanden hat,  
weiterverwendet, um wiederum in einen ebenfalls vorher  
vorbereiteten Basis-Chips hinein durch  
Elektronenstrahl-induzierte Deposition die  
funktionellen Elemente für ein gleichartiges  
20      Elektronenstrahlssystem aufzubauen. Eine wesentliche  
Eigenschaft des Elektronenstrahlsystems besteht darin,  
einen feinen Elektronenstrahl auf ein Substrat zu  
fokussieren und dort durch Zufuhr von  
organometallischen Verbindungen wiederum Strukturen  
25      durch Elektronenstrahl-induzierte Deposition zu  
erzeugen. Das erfindungsgemäße Verfahren zur  
Selbstreproduktion von Elektronenstrahlssystemen kann  
nun in einem ersten Schritt zur Verdoppelung der Anzahl  
von Elektronenstrahlssystemen den vorher beschriebenen  
30      Prozess nutzen, a) um eine Tochtergeneration von  
Elektronenstrahlssystemen zu erzeugen und b) um die  
„Tochter“- Elektronenstrahlssysteme zusammen mit dem  
„Mutter“- Elektronenstrahlssystem parallel einzusetzen,  
um daraufhin eine zweite Töchtergeneration von nunmehr

zwei Elektronenstrahlssystemen parallel aufzubauen.  
Diese neu aufgebauten Elektronenstrahlssysteme werden  
dann wieder zu den bereits bestehenden  
Elektronenstrahlssystemen parallel geschaltet, wodurch  
5 vier Elektronenstrahlssysteme erhalten werden, die  
gemeinsam eingesetzt werden, um in vorbereitete Basis-  
Chips auf einem Substrat Funktionselemente von weiteren  
vier Elektronenstrahlssystemen parallel und gleichzeitig  
aufzubauen, und so fort.

10

Mit der Erfindung wird die Möglichkeit eröffnet, ein  
exponentielles Wachstum der Anzahl der  
Korpuskularstrahlssysteme zu erzielen. Beispielsweise  
werden nach fünf Generationen 32 funktionsfähige  
15 miniaturisierte Korpuskularstrahlssysteme erhalten, die  
erprobt und funktionsbereit sind. Nach zehn  
Tochtergenerationen sind bereits 1024 derartige  
miniaturisierte Systeme und nach 20 Tochtergenerationen  
1 Mio. funktionierende Korpuskularstrahlssysteme  
20 erhalten worden. Insbesondere schaltet man die derart  
erzeugten Korpuskularstrahlssysteme in einen Block  
zusammen und setzt sie als Strahlmatrix mit z.B. bis zu  
1 Mio. parallel produktiv wirkenden Korpuskularstrahlen  
ein, so erhält man mit Vorteil neuartige  
25 Produktionsgeräte zur Herstellung von in der  
Einzelherstellung zu teuren neuen Produkten. Dies wird  
durch die Tatsache verursacht, dass im Einzelstrahl-  
Herstellungsverfahren die Produkte eine hohe  
Herstellungszeit haben und damit hohe Herstellungs-  
30 Elektronenstrahl-Maschinenkosten von z.B. mehreren  
Minuten und damit nur unwirtschaftlich hergestellt  
werden könnten. Beispiele solcher Produkte sind eine  
Widerstandsmatrix der Detektorelemente für eine flache

Kamera für Multimedia-Anwendungen oder eine Emitter-  
und Extraktor-Anordnung für die  
Bildpunkt-Strahlungsquellen für flache  
Feldemitterelektronenquellen, die in Flachbildschirmen  
5 Verwendung finden, und die auch mit Vorteil in einem  
Hochstrom-Schalter mit niedriger Schaltspannung für die  
Energieübertragungstechnik Anwendung finden.

Konkret betrifft die Erfindung ein Verfahren zur  
10 Herstellung von Korpuskularstrahlssystemen, bei dem auf  
einem ersten Substrat mindestens ein erstes  
Korpuskularstrahlssystem mittels  
korpuskularstrahlinduzierter Deposition und auf  
mindestens einem zweiten Substrat mindestens ein  
15 zweites Korpuskularstrahlssystem von dem mindestens  
einen ersten Korpuskularstrahlssystem mittels  
korpuskularstrahlinduzierter Deposition erzeugt wird.

Anschließend kann auf dem ersten Substrat mindestens  
20 ein weiteres erstes Korpuskularstrahlssystem von dem  
mindestens einen zweiten Korpuskularstrahlssystem  
mittels korpuskularstrahlinduzierter Deposition  
erzeugt werden.

25 Vorzugsweise werden abwechselnd erste und zweite  
Korpuskularstrahlssysteme von den bereits auf den  
Substraten existierenden zweiten bzw. ersten  
Korpuskularstrahlssystemen erzeugt.

30 Insbesondere werden ein erstes und ein zweites  
Substrat derart zueinander versetzt angeordnet, dass  
den auf einem Substrat bereits existierenden  
Korpuskularstrahlssystemen freie Flächen des anderen  
Substrats gegenüberliegen, so dass die  
35 Korpuskularstrahlssysteme des einen Substrats

Korpuskularstrahlssysteme auf den freien Flächen des anderen Substrats erzeugen können.

5 Um die für die Herstellung erforderliche Genauigkeit zu erzielen, werden die Substrate vorzugsweise von einem Rechner gesteuert positioniert.

10 Eine besonders hohe Positionierungsgenauigkeit ermöglichen Piezoelemente, mit denen insbesondere über einen x-y-z-Verschiebetisch die Substrate zueinander positioniert werden können. Auch mechanische Verschiebetische, die mit Linearmaßstäben in ihrer Bewegung verfolgt werden erfüllen die Präzisionsanforderung für die Platzierung der System-  
15 Komponenten.

Jedes Korpuskularstrahlssystem wird vorzugsweise nach seiner Erzeugung elektrisch getestet, um mögliche Defekte bereits während des Herstellungsprozesses zu  
20 erkennen.

In einer bevorzugten Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens werden vor der Erzeugung von Korpuskularstrahlssystemen auf den Substraten  
25 Schaltungselemente, insbesondere Verdrahtungselemente erzeugt, mit denen die erzeugten Korpuskularstrahlssysteme zumindest teilweise elektrisch verbunden und angesteuert werden.

30 Insbesondere werden Korpuskularstrahlssysteme auf Anschlusspunkten, die auf einem Substrat vorgesehen sind, erzeugt.

35 Eine besonders effiziente Herstellung kann dadurch erzielt werden, dass Korpuskularstrahlssysteme auf einem Substrat kammartig nebeneinander angeordnet



werden. Insbesondere bestehen wegen der geringen Abmessungen der Systeme Abstände von weniger als 50 µm zwischen den Systemen.

5     Dabei werden die Zwischenräume zwischen den Systemen mit Vorteil für die elektrostatische Abschirmung der Einzelsysteme gegeneinander mit Hilfe von auf definiertem Gleichspannungs- oder  
10     Wechselspannungspotential liegenden Elektroden und Leiterbahnen verwendet.

Vorzugsweise führen erste und/oder zweite Korpuskularstrahlssysteme eine Bildauswertung von Bildsignalen durch, die durch Rasterung erzeugt  
15     werden, um den Produktionsprozess visuell zu überwachen.

Sowohl Fokussierung, Stigmatisierung und Ablenkung eines Korpuskularstrahls werden vorzugsweise in einem  
20     automatischen Ablauf erfolgen und für jedes Korpuskularstrahlssystem kann eine individuelle Fokussierung durchgeführt.

Die Deposition wird in einer bevorzugten  
25     Ausführungsform mit Ionenstrahlinduzierter Deposition durchgeführt. Alternativ dazu wird die Deposition mit Elektronenstrahlen verwendet.

Vorzugsweise erfolgt die Deposition für das erste  
30     herzustellende Korpuskularstrahlssystem mit Rastersondenmikroskopischer Deposition mit Niederspannung beispielsweise von etwa 100 V bis etwa 40 kV.

Die Korpuskularstrahlsysteme werden vorzugsweise in Gruppen von einem Steuersystem umfassend eine Steuer- und Programmierelektronik angesteuert und kontrolliert.

5

Bis zu einer bestimmten Anzahl ist es vorteilhaft, die Korpuskularstrahlsysteme vollständig konfiguriert aufzubauen und dann durch geeignete Zuführung von Gasen zum Aufbau weiterer Korpuskularstrahlsysteme als parallel arbeitende Blöcke von Korpuskularstrahlsystemen einzusetzen.

Insbesondere werden Einzelkämme von Korpuskularstrahlsystemen reproduziert und zu Fertigungssystemen zusammengesetzt.

Die Blöcke können hierbei gemeinsam produziert werden, ohne dass sie weiterhin zusammengesetzt werden müssen.

In einer besonders bevorzugten Ausführungsform sind die Korpuskularstrahlsysteme mit ihren Korpuskularstrahl-Achsen etwa senkrecht zur Oberfläche des Substrats oder der Substrate angeordnet. Insbesondere umfassen die Korpuskularstrahlsysteme eine oder mehrere Feldemitter-Elektronenquelle(n) mit wenigstens einem Extraktor, welcher als Rundlinse oder Quadrupol aufgebaut ist, und einer Fokussierungslinse, welche ebenfalls als Rundlinse oder Quadrupol aufgebaut ist. Die Anordnung aus den Rundlinsen bzw. Quadrupolen ermöglicht eine Steuerung des Emissionsstromes, die Fokussierung und die Ablenkung des Korpuskularstrahles in x-y-Richtung durch eine rechnergesteuerte Einstellung der Versorgungsspannung der Rundlinsen- bzw. Quadrupol-Elektroden.

35

Insbesondere kann das Rundlinsen- bzw. Quadrupolsystem durch Wahl der Spannungen an den Elektroden den Korpuskularstrahl an- und abschalten. Durch Anlegen der Ablenkspannungen an den Extraktor und die  
5 Fokussierlinse wird zudem der Elektronenstrahl zeilenförmig gerastert, im Spiral-Raster oder mit anderen zufälligen oder gezielt gewünschten Koordinaten-Werten oder gezielt von Punkt zu Punkt bewegt.

10

Vorzugsweise sind um ein Korpuskularstrahlsystem Drähte, die Sekundärelektronen detektieren, und/oder Metall-Flächen angeordnet, welche die von dem Primärstrahl bzw. Korpuskularstrahl auf dem  
15 gegenüberliegenden Substrat erzeugten Sekundärelektronen aufnehmen. Die Drähte bzw. Metall-Flächen verstärken die Sekundärelektronen in der Ausführungsform eines offenen Multipliers und führen sie einem Bildsignal-Anzeigegerät synchron zur  
20 Ablenkung oder einer Anzeige zu.

Insbesondere werden die Bildsignale und Sekundärsignale der Sekundärelektronen zur Prozeßsteuerung und Bildanzeige verwendet.

25

Die Strahlen der Korpuskularstrahlsysteme werden vorzugsweise zum Aufbau weiterer Korpuskularstrahlsysteme, Tochtersysteme oder Strahlquellen verwendet, die insbesondere auf einer in  
30 einem vorgegebenen Abstand angeordneten, über einen x-y-z-Verschiebetisch positionierbaren vorstrukturierten Halbleiterschaltung hergestellt werden. Die Halbleiterschaltung wird hierbei vorzugsweise durch Vorstrukturierung mit Anschlüssen, Depositions-  
35 Fusspunkten und Systemelektronik in Form von Halbleiterschaltungen hergestellt.

Insbesondere ist eine erzeugte neue Tochterstruktur gleichartig zur Vervielfältigung der Mutter-Anordnung ausgeführt.

5

In einer bevorzugten Ausführungsform ist die Tochterstruktur andersartig, aber ebenfalls korpuskularstrahl-spezifisch aufgebaut, um andersartige Korpuskularstrahl-Anwendungen in  
10 mehrfacher Form auf den Substraten zu erzeugen und zur Funktion zu bringen, z.B. die vom Erfinder patentierten Mikroröhren für Elektronenverstärker im THz-Bereich, für Schaltungen für Bit-Fehler-Raten Messplätze für die Telekommunikation im oberen GHz  
15 Bereich oder für Hochstrom-Elektronenquellen für die schnelle leistungsarme Schaltung von sehr hohen Strömen für die Energieverteilung.

20 Um die Deposition überall in gleicher Weise zu ermöglichen werden die zur Deposition erforderlichen Gase vorzugsweise zwischen gegenüber angeordneten Substraten mit ausreichend hohem Druck eingebracht.

25 Um zu verhindern, dass bei der Deposition auf der Tochterebene erzeugte Ionen auf der Mutterebene Deponieren, und umgekehrt, wird bei der Wahl der Spannungen in den Systemen Sorge getragen, dass ein Ionenspiegel-Effekt eintritt, welcher diese Ionen von  
30 den empfindlichen Strukturen der Mutter-Ebene repsektive Tochterebene fern hält und sie durch Verwendung geeigneter Potentiale gezielt auf dafür vorgesehenen geeigneten Stellen sammelt und unschädlich macht. Solche Stellen sind zum Beispiel  
35 Linsenelektroden oder vorgefertigte Auffangflächen,

die auf gegenüber dem Auftreff-Ort der  
Primärelektronen negativem Potential liegen.

Die Substrate werden vorzugsweise rechnergesteuert  
5 gegeneinander verschoben, so dass ebenfalls auf den  
Substraten befindliche und durch vorstrukturierende  
Lithographie und Lithographieverfahren hergestellte  
Teststrukturen es ermöglichen, erzeugte  
Tochterstrukturen oder Spezialstrukturen in ihrer  
10 Eigenschaft zu vermessen und zu kalibrieren.

Durch Verdoppelung der getesteten und gegebenenfalls  
durch Reparatur wieder funktionsfähig gemachten  
Strukturen werden diese in exponentiell wachsenden  
15 Zahlen erzeugt.

Die vielfach erzeugten Korpuskularstrahlssysteme werden  
vorzugsweise zur ökonomischen Herstellung von  
einzelnen, von in Gruppen durch Aufteilung der Flächen  
20 oder von flächigen Anordnungen derartiger Systeme  
eingesetzt.

Gemäß einem weiteren Aspekt betrifft die Erfindung  
eine Vorrichtung zur Herstellung von  
25 Korpuskularstrahlssystemen mit einem ersten Substrat  
und mindestens einem zweiten Substrat, wobei sich auf  
dem ersten Substrat mindestens ein mittels  
korpuskularstrahlinduzierter Deposition erzeugtes  
erstes Korpuskularstrahlssystem befindet.

30 Insbesondere sind das erste und das mindestens zweite  
Substrat derart zueinander versetzt angeordnet, dass  
den auf einem Substrat bereits existierenden  
Korpuskularstrahlssystemen freie Flächen des anderen  
35 Substrats gegenüberliegen, so dass die  
Korpuskularstrahlssysteme des einen Substrats

Korpuskularstrahlssysteme auf den freien Flächen des anderen Substrats erzeugen können.

- 5 In einer bevorzugten Ausführungsform zeichnet sich die Vorrichtung durch einen Rechner aus, der programmtechnisch eingerichtet ist, um die Anordnung der Substrate insbesondere über einen Verschiebetisch in x-y-z-Richtung zu steuern.
- 10 Ferner werden vorteilhafterweise Piezoelemente an den Substraten vorgesehen, um diese zueinander mit hoher Präzision elektrisch gesteuert und vermessen zu positionieren.
- 15 Während der Herstellung wird vorzugsweise die Funktionsfähigkeit der Korpuskularstrahlssysteme überprüft durch vorgesehene Testmittel, wie Bildwiedergabe, elektrische Strom- und Spannungsdetektion und Anzeige, und andere Anzeigen,
- 20 die zum Testen jedes Korpuskularstrahlssystems auf den Substraten ausgebildet und elektrisch angeschlossen sind.
- 25 In einer besonders bevorzugten Ausführungsform ist das erste und zweite Substrat ein Halbleiter, insbesondere Silizium. In diesem Fall werden mittels Halbleiterherstellungsverfahren, wie diese auch zur Produktion von integrierten Schaltungen angewandt werden, elektronische Komponenten auf den Substraten
- 30 für die Korpuskularstrahlssysteme erzeugt. Falls hohe Spannungen in den Korpuskularstrahlssystemen erforderlich sind, wird mit Vorteil die elektronische Steuer- und Vermessungs-Schaltung auf einem isolierenden Substrat wie Glas oder Keramik mit
- 35 Halbleitertechnischen Prozessen hergestellt.

Insbesondere wird vorteilhafterweise das Substrat  
Schaltungselemente, insbesondere Verdrahtungselemente  
aufweisen, mit denen Korpuskularstrahlsysteme  
zumindest teilweise elektrisch verbunden werden.

5

Die Schaltungselemente sind beispielsweise  
insbesondere rechnergesteuerte  
Korpuskularstrahlstromregler, Heizstromregler,  
Korpuskularstrahlablenkverstärker,  
10 Blendenablenkverstärker, Rastergenerator,  
Funktionsgenerator mit Speicher, Linseneinstellmittel,  
Linsenspannungsverstärker, Bildsignalverstärker,  
Astigmatismus-Spannungsverstärker und/oder  
Ablenkungsspannungsverstärker.

15

Typischerweise weist ein Substrat mindestens eine  
Fläche mit einer Breite von etwa 2  $\mu\text{m}$  bis etwa 2500  $\mu\text{m}$   
und einer Länge von etwa 10  $\mu\text{m}$  bis zu etwa 100 mm für  
ein Korpuskularstrahlsystem auf.

20

Ferner weist ein Substrat in einer bevorzugten  
Ausführungsform Anschlusspunkte für  
Korpuskularstrahlsysteme auf, beispielsweise  
metallisierte elektrische Kontaktpunkte zum  
25 Anschliessen von Komponenten der  
Korpuskularstrahlsysteme.

Vorzugsweise sind Korpuskularstrahlsysteme auf einem  
Substrat kammartig nebeneinander angeordnet, was  
30 produktionstechnisch besonders vorteilhaft ist, da  
sich die Substrate Seite an Seite anordnen lassen und  
alle Korpuskularstrahlsysteme eines Substrats dann zur  
Erzeugung von Korpuskularstrahlsystemen auf dem  
gegenüberliegenden ebenfalls kammartigen Substrat  
35 gleichzeitig arbeitend eingesetzt werden. Die  
kammartige Anordnung unterstützt mit Vorteil die

Verbindungstechnik unter Verwendung von industriell  
eingesetzten Platinenstecker-Buchsen zum Prüfen und  
Betreiben der gefertigten Elemente

- 5 In einer bevorzugten Ausführungsform sind mindestens  
ein erstes und mindestens ein zweites  
Korpuskularstrahlssystem mit Mess- und  
Stabilisatorschaltungen versehen, die zum Messen und  
Stabilisieren von Korpuskularstrahlung dienen.
- 10 Es werden ferner in einer bevorzugten Ausführungsform  
Schaltungselemente vorgesehen, welche die  
Korpuskularstrahlssysteme mit Spannung und Strom  
versorgen und es ermöglichen, diese mittels Speicher  
15 programmierbar einzustellen. Dies ermöglicht den  
Aufbau sehr flexibler, da programmierbarer  
Korpuskularstrahlssysteme.
- 20 Vorzugsweise sind die Korpuskularstrahlssysteme mit  
Mitteln versehen, die zum Ausführen eines  
automatisierten Prüfverfahrens ausgebildet sind,  
welches die Funktionsfähigkeit und Stabilität der  
Strahlung und der Bildaufnahme und Bildauswertung  
gewährleistet.
- 25 Die Korpuskularstrahlssysteme werden vorteilhafterweise  
mit bildanzeigenden Mitteln verbunden, die in einem  
Bildschirm oder Großbildschirm mit entsprechender  
Bildaufteilung für die einzelnen  
30 Korpuskularstrahlssysteme bestehen, so dass die Arbeit  
des Systems überwacht und sein Ergebnis für  
anderweitige Weiterverwendung zur Verfügung gestellt  
wird.



Die bildanzeigenden Mittel weisen insbesondere dateninformationsreduzierende Routinen auf, um die Überwachung zu unterstützen und um zu gewährleisten, dass im Wesentlichen nur Fehler gespeichert werden müssen.

Vorzugsweise weisen die Korpuskularstrahlssysteme Elektronenquellen oder Gas- oder Flüssigkeitsionenquellen auf.

Schließlich betrifft die Erfindung die Verwendung des erfindungsgemäßen Verfahrens und/oder der erfindungsgemäßen Vorrichtung zur Herstellung von ebenen verteilten Bauelementen, insbesondere einer Widerstandsmatrix für eine flache Kamera, eines Flachbildschirms mit Korpuskularstrahlquellen, von Linsenarrays und einer Schreib-/Leseanordnung für einen Speicher, sowie andere bereits oben genannte Anwendungen.

Weitere Vorteile und Anwendungsmöglichkeiten der vorliegenden Erfindung ergeben sich aus der nachfolgenden Beschreibung in Verbindung mit den in der Zeichnung dargestellten Ausführungsbeispielen.

In der Beschreibung, in den Ansprüchen, der Zusammenfassung und in den Zeichnungen werden die in der hinten angeführten Liste der Bezugszeichen verwendeten Begriffe und zugeordneten Bezugszeichen verwendet.

In den Zeichnungen bedeutet:

- Fig. 1 eine schematische Darstellung einer  
erfindungsgemäßen sukzessiven Herstellung von  
miniaturisierten Elektronenstrahlsystemen mit  
Hilfe vorgefertigter Schaltkreise und  
Elektronenstrahl-induzierter Deposition zum  
Aufbau funktionaler Gruppen von  
Korpuskularstrahlsystemen,
- Fig. 2 eine schematische Darstellung eines einzelnen  
Elektronenstrahlsystems, das auf einer  
vorgegebenen Fläche auf einem Substrat durch  
Elektronenstrahl-induzierte Deposition gemäß  
der Erfindung aufgebaut wurde,
- Fig. 3 eine Seitenansicht eines  
Elektronenstrahlsystems, dessen Strahlachse  
senkrecht zum Substrat angeordnet ist,
- Fig. 4 eine perspektivische Ansicht des in Fig. 3  
dargestellten Elektronenstrahlsystems,
- Fig. 5 die verschiedenen Potentiale im  
Elektronenstrahl, der von dem in den Fig. 3  
und 4 dargestellten Elektronenstrahlssystem  
emittiert wird,
- Fig. 6 eine Draufsicht auf das in Fig. 3  
dargestellte Elektronenstrahlssystem,
- Fig. 7 ein Gitter zur Ablenkkalibrierung und daneben  
ein mittels Elektronenstrahl-Deposition

erzeugter Zylinderaufbau zur Bildung eines  
Faraday-Käfigs zur Strommessung, und

Fig. 8 eine Detailansicht des in Fig. 7  
5 dargestellten Gitters mit den in Fig. 7  
dargestellten Zylinderaufbauten.

Im folgenden können gleiche und funktional gleiche  
Elemente mit denselben Bezugszeichen versehen sein.

10

Eine Besonderheit des erfindungsgemäßen Verfahrens ist  
durch den Einsatz einer rechnergesteuerten  
Elektronenstrahl-induzierten Deposition gekennzeichnet.  
So kann beispielsweise in ca. 20-30 Min. auf einem  
15 vorbereiteten ersten Basis-Chip als erstes Substrat,  
der Stabilisierungs-, Steuer-, Auswertungs- und andere  
Schaltkreise aufweist, ein miniaturisiertes  
Elektronenstrahlsystem hergestellt werden. Die hierfür  
eingesetzte Herstellungstechnik ist eine Re-  
20 paraturtechnik, welche die Korrektur und Fehlerbehebung  
in den deponierten Strukturen ermöglicht. Mit dieser  
Technik wird ein erstes Elektronenstrahlsystem  
aufgebaut und danach durch Anlegen von erforderlichen  
Versorgungsspannungen eingeschaltet. Nach dem  
25 Einschalten erfolgt ein elektronischer Test des  
erzeugten Systems.

Die durch Deposition gefertigten Elemente des ersten  
Elektronenstrahlsystems wie elektrostatische Linsen und  
30 ein Abbildungssystem, das mit einer Strahlablenkung und  
mit oder ohne einer Aperturblende ausgerüstet ist,  
ermöglichen eine Fokussierung mit hoher  
Strahlstromdichte in einem geringen Arbeitsabstand.

Dadurch wird es ermöglicht, durch eine Elektronenstrahl-induzierte Deposition weitere Bauelemente von Elektronenstrahlsystemen auf einem zweiten Basis-Chip als zweites Substrat abzuscheiden.

5

Um ein zweites Elektronenstrahlsystem aufzubauen, wird der zweite Basis-Chip durch mechanische Platzierung bzw. Anordnung gegenüber dem ersten Basis-Chip mit nm-Präzision ausgerichtet. Durch bildverarbeitende Mittel werden dann im Mix- und Match-Verfahren die Elektroden des zweiten Elektronenstrahlsystems auf Nanometer genau platziert auf dem zweiten Basis-Chip hergestellt. So wird ein eine Quelle, einen Kondensor, eventuell eine Blende, ein Ablenksystem, eine Ablenklinse und einen Detektor umfassendes zweites Elektronenstrahlsystem erzeugt, das in seiner Gesamtgröße zwischen 1 und 100  $\mu\text{m}$  lang ist.

Dieses miniaturisierte Elektronenstrahlsystem ermöglicht eine Fokussierung eines Elektronenstrahls durch die letzte Linse des Systems mit 20 bis 100 eV in einem Arbeitsabstand von einigen  $\mu\text{m}$ . Die Fokussierung kann dabei so fein werden wie bei einem herkömmlichen 20 kV-Elektronenstrahlsystem, da Linsenfehler der elektrostatischen miniaturisierten Linsen aus leitenden Drähten sehr viel kleiner sind, als die der herkömmlichen großen elektrischen und magnetischen Linsen in einem 20 kV-Elektronenstrahlsystem. Dementsprechend sind die Bildfehler um Größenordnungen kleiner. Ein derartiges miniaturisiertes Elektronenstrahlsystem ermöglicht daher bei ähnlich großer Apertur eine ähnliche Auflösung wie bei einem herkömmlichen etwa 1 m großen Elektronenstrahlsystem.

Die erfindungsgemäße Herstellung vieler  
miniaturisierter Elektronenstrahlsysteme wird mit  
Vorteil durch eine roboterartige Führung der Substrate,  
5 auf denen die Systeme aufgebaut werden, verbessert.  
Hierzu gibt es zwei unterschiedliche Verfahren.

Bei einem ersten Verfahren wird ein herkömmliches  
Raster-Elektronenstrahlsystem verwendet, das mit einer  
10 speziellen mehrkanaligen Gaszuführung zur Lieferung von  
Präkursoren für die Deposition ausgerüstet ist. Das  
Raster-Elektronenstrahlsystem erzeugt auf einem  
spezifischen Basis-Chip eines ersten Substrats für ein  
herzustellendes Elektronenstrahlsystem eine  
15 Elektrodenkonfigurationen, eine Elektronenquelle,  
eventuell eine Blende, eine Ablenklinse und einen  
Detektor durch Aufwachsen in vorbereitete  
Anschlusspunkte des spezifischen Basis-Chips. Dieses  
Elektronenstrahlsystem wird nun verwendet, um auf einem  
20 weiteren vorbereiteten Basis-Chip auf gleiche Weise,  
nämlich durch Depositions-Schreiben senkrecht zum  
Substrat ein zweites Elektronenstrahlsystem aufzubauen.  
Beide Chips werden dann parallel angeordnet, mit  
Spannung versorgt und zu einer Doppelschreibeinheit  
25 verbunden. Mit einem derartigen Doppelsystem können  
zwei weitere Elektronenstrahlsysteme aufgebaut werden.  
Insgesamt können so  $2^n$  Elektronenstrahlsysteme bei  $n$   
Systemgenerationen hergestellt werden.

30 Ein zweites Verfahren besteht darin, auf einem ersten,  
kammartigen Substrat, das eine Vielzahl von kammartig  
angeordneten Basis-Chips aufweist, mit einem Raster-  
Elektronenstrahlsystem ein erstes

Elektronenstrahlsystem auf einem der Basis-Chips zu  
erzeugen. Dem ersten Substrat wird dann ein zweites,  
ähnlich kammartig ausgebildetes Substrat  
gegenübergestellt, genauer gesagt in einem Winkel von  
5 etwa 90° zum ersten Substrat angeordnet. Das zweite  
Substrat wird dann mechanisch relativ zum ersten  
Substrat derart bewegt, dass mittels des ersten  
Elektronenstrahlsystems auf dem ersten Substrat die  
Elektronenquelle, die Elektroden und weitere  
10 Systemfunktionselemente eines zweiten  
Elektronenstrahlsystems auf dem zweiten Substrat  
erzeugt werden.

Wenn dieses zweite „Tochter“-Elektronenstrahlsystem  
15 erzeugt ist, wird es ebenfalls wie das erste  
Elektronenstrahlsystem mit Strom versorgt und dazu  
benutzt, um auf einem zweiten Basis-Chip des ersten  
Substrats ein weiteres erstes Elektronenstrahlsystem  
aufzuschreiben, nachdem das erste Substrat mechanisch  
20 relativ zum zweiten Substrat derart angeordnet worden  
ist, dass dem zweiten „Tochter“-Elektronenstrahlsystem  
eine freie Fläche bzw. ein Basis-Chip gegenüberliegt.

Danach befinden sich auf dem ersten Substrat zwei  
25 parallel angeordnete Elektronenstrahlsysteme, die  
wiederum zum Erzeugen zweier zweiter  
Elektronenstrahlsysteme auf dem zweiten Substrat  
verwendet werden. Hierzu schreiben die beiden  
parallelen Elektronenstrahlsysteme des ersten Substrats  
30 auf das etwa rechtwinklig zum ersten Substrat  
angeordnete zweite Substrat zwei weitere Systeme, so  
dass sich auf dem zweiten Substrat insgesamt drei  
Systeme befinden. Diese drei Elektronenstrahlsysteme

werden wiederum dazu verwendet, auf das erste Substrat zusätzliche drei Elektronenstrahlsysteme zu erzeugen, so dass sich insgesamt fünf Systeme auf dem ersten Substrat befinden.

5

In Fig. 1 sind ein erstes und ein zweites Substrat 14 bzw. 16 dargestellt, auf denen sich erste bzw. zweite miniaturisierte Elektronenstrahlsysteme 10, 10', 10'', 10''', 10'''' bzw. 12, 12', 12'' befinden. Die beiden Substrate 14 und 16 sind kammartig ausgebildet, d.h. sie haben eine etwa rechteckförmige Ausbildung und sind in freie Flächen entsprechend Basis-Chips aufgeteilt, welche für Elektronenstrahlsysteme vorgesehen sind. Die Substrate 14 und 16 sind in einem Winkel von etwa 90° zueinander angeordnet. Ihre Position wird von einem (Steuer-)Rechner 20 kontrolliert, der Piezoelemente 22 und 24 zum exakten Ausrichten der Substrate 14 und 16 ansteuert. Damit ist eine Positionierung der Substrate 14 und 16 möglich, aber mit nm- Genauigkeit.

20

Die Elektronenstrahlsysteme 10-10'''' und 12-12'' wurden gemäß dem erfindungsgemäßen Verfahren folgendermaßen erzeugt: zuerst wurde mit einem nicht dargestellten Raster-Elektronenschreiber das erste Elektronenstrahlsystem 10 auf dem ersten Substrat 14 mittels Elektronenstrahl-induzierter Deposition hergestellt. Anschließend wurde das zweite Substrat 16 vom Rechner 20 über das Piezoelement 24 derart zum ersten Substrat 14 ausgerichtet, dass der Basis-Chip für das zweite Elektronenstrahlsystem 12 gegenüber dem ersten Elektronenstrahlsystem 10 angeordnet war. Danach erzeugte das erste Elektronenstrahlsystem 10 das zweite Elektronenstrahlsystem 12. Das zweite

Elektronenstrahlsystem 12 wurde nach Fertigstellung in Betrieb genommen und erzeugte nach erfolgreichem Test das erste Elektronenstrahlsystem 10' neben dem Elektronenstrahlsystem 10 auf dem ersten Substrat, nachdem der entsprechende Basis-Chip des ersten Substrats 14 gegenüber dem zweiten Elektronenstrahlsystem 12 plaziert worden war. Die beiden nebeneinander liegenden Elektronenstrahlssysteme 10 und 10' wurden dann zum gleichzeitigen Erzeugen der Elektronenstrahlssysteme 12' und 12'' nach entsprechender Positionierung der beiden Substrate 14 und 16 erzeugt. Schließlich deponierten die so erzeugten nebeneinander angeordneten drei Elektronenstrahlssysteme 12-12'' die Elektronenstrahlssysteme 10''-10'''' gleichzeitig. In einem nächsten Schritt werden dann die Elektronenstrahlssysteme 10-10'''' gleichzeitig fünf (nicht dargestellten) Elektronenstrahlssysteme auf dem zweiten Substrat 16 erzeugen. Die beiden Substrate 14 und 16 sind hierfür bereits entsprechend positioniert. Die Basis-Chips bzw. freien Flächen 18-18'''' für die zu erzeugenden Elektronenstrahlssysteme auf dem zweiten Substrat sind noch frei.

Eine weitere freie Fläche am rechten Rand des ersten Substrats 14 zeigt schematisch Schaltungselemente 26, die für ein Elektronenstrahlsystem vorgesehen sind. Die Schaltungselemente 26 umfassen Verdrahtungselemente 28, insbesondere Leiterbahnen, und Anschlusspunkte 34, insbesondere freie Metallflächen. Die Anschlusspunkte 34 dienen zum Aufwachsen von Strukturen eines Elektronenstrahlssystems, beispielsweise von Linsen und Blenden. Die Verdrahtungselemente 28 dienen zum



elektrischen Verbinden von einem Elektronenstrahlsystem mit weiteren (nicht dargestellten) Schaltungselementen, beispielsweise Strom- oder Spannungsquellen.

5 In Fig. 2 ist ein vollständiges Elektronenstrahlsystem 30 auf einer Fläche 32 eines Substrats dargestellt, wie es durch das erfindungsgemäße Verfahren auf einem Basis-Chip erzeugt wurde. Der von dem System 30 erzeugte Elektronenstrahl trifft auf ein Objekt 36, das  
10 beispielsweise ein weiterer Basis-Chip eines Substrats sein kann, auf dem ein weiteres Elektronenstrahlsystem aufgebaut werden soll. Das Objekt 36 ist etwa in einem Winkel von  $90^\circ$  zum System 30 angeordnet und befindet sich etwa im Brennpunkt des Elektronenstrahls 34.

15 Das dargestellte Elektronenstrahlsystem 30 umfasst einen Emitter 38 sowie ein Blenden und Linsensystem 40 mit einer Extraktor-Linse aus zwei ringförmigen Elektroden. Eine Blende ist nicht gezeigt. Diese müsste  
20 in dem Raum zwischen Extraktorlinse und Ablenklinse angeordnet sein. Wegen der Anordnung der Feldelektronenquelle als Superspitze auf dem Emitterträger kann es ausreichend sein, die auf einen Emissionsort begrenzte Emission ohne zusätzliche Blende  
25 vollständig zu verwenden, da dies durch die kleinen Linsenfehler der Extraktorlinse ermöglicht ist, ohne die Quelle in ihrer Größe und Emittanz wesentlich zu verschlechtern. Zudem kann der Fokus des Strahls durch den Rundlinsenteil der Ablenklinse geregelt werden. Ein  
30 derartiges Elektronenstrahlsystem 30 wird dazu verwendet, ein „Tochter“- Elektronenstrahlsystem auf dem Objekt 36 mittels Elektronenstrahl-induzierter Deposition gemäß der Erfindung zu erzeugen.

Mit den oben beschriebenen Verfahren entsteht eine  
spezielle mathematische Reihe von Wachstumszahlen und  
von Elektronenstrahlssystemen, welche auch ähnlich dem  
5 exponentiellen Wachstum zu einer Reproduktion von  
vielen Elektronenstrahlssystemen führt. Das  
erfindungsgemäße Verfahren hat den Vorteil, dass zwei  
funktionsfähige Substrate sukzessive mit  
Elektronenstrahlssystemen ergänzt aufgefüllt werden, und  
10 zum Schluss sehr schnell voll gefüllte Substrate mit  
Elektronenstrahlssystemen erhalten werden. Um  
beispielsweise 64 oder 1024 oder gar 1 Mio. von  
miniaturisierten Elektronenstrahlssystemen zu erhalten,  
können die Substrate mit ihren parallel arbeitenden  
15 Elektronenstrahlssystemen als ganzes eingesetzt werden  
und neue „Tochter“-Elektronenstrahlssysteme auf einem  
neuen Substrat gleichzeitig herstellen.

Das zweite Verfahren hat gegenüber dem ersten Verfahren  
20 den Vorteil, dass die Substrate mit  
Elektronenstrahlssystemen nicht in Einzelelemente  
zerschnitten werden müssen. Außerdem ist mit Vorteil  
die Verdrahtung der Versorgungsspannungen und anderer  
parallel ablaufender elektrischer Steuerungs-Schritte  
25 mit in das Substrat bei der Herstellung integriert.  
Damit wird das Packaging von Einzelkomponenten  
vermieden und die Zuverlässigkeit der Anordnung  
wesentlich erhöht.

30 In Fig. 3 ist ein erstes Elektronenstrahlssystem 10 auf  
einem ersten Substrat 14 in seitlicher Ansicht  
dargestellt, dessen durch eine gestrichelte Linie  
angedeuteter Elektronenstrahl etwa senkrecht zum

Substrat 14 verläuft. Der Elektronenstrahl des ersten Systems 10 baut auf einem zweiten Substrat 16, das dem ersten Substrat 14 gegenüberliegt, ein zweites Elektronenstrahlsystem 12 mittels Elektronenstrahl-induzierter Deposition auf. Zwischen den beiden plattenförmigen Substraten 14 und 16 befindet sich ein Gas, dessen Gaspartikel 58 für die Deposition erforderlich sind. Das Gas weist einen für die Deposition ausreichend hohen Druck zwischen den Substraten 14 und 16 auf.

Das erste Elektronenstrahlsystem 10 umfasst eine feine Metallspitze als Emitter 38 für Elektronen. Weiterhin weist das erste System 10 einen ersten Quadrupol mit den Quadrupol-Elektroden 44 und einen zweiten Quadrupol mit den Quadrupol-Elektroden 50 und 52 auf. Die entsprechend zum Quadrupol gehörigen weiteren zwei Elektroden in der zur Zeichenebene senkrechten Ebene durch die Strahlachse sind nicht gezeichnet, werden aber in den folgenden Figuren 4 im Schrägbild für den ersten Quadrupol und in Figur 6 mit ihren Fußpunkten an den Endpunkten der Anschlussleiterbahnen 43, 44, 46, 48 und 50 - 56 in der Anschlussstruktur dargestellt. Der erste Quadrupol 43, 44, (46, 48 nicht gezeigt) dient als Extraktor, um die vom Emitter 38 emittierten Elektroden zu beschleunigen. Der zweite Quadrupol 50, 52, (54, 56 nicht gezeigt) ist in Richtung vom ersten zum zweiten Substrat 14 bzw. 16 hinter dem ersten Quadrupol 43, 44 angeordnet und dient als Fokussierungslinse für den Elektronenstrahl. Mittels einer rechnergesteuerten Einstellung der Versorgungsspannung der Elektroden der beiden Quadrupole 43, 44, 50, 52 wird der Emissionsstrom des

Emitters 38, die Fokussierung und Ablenkung des Elektronenstrahls in x-y-Richtung ermöglicht, wobei die x-y-Ebene etwa parallel zu den Ebenen liegt, in welchen sich die Substrate 14 und 16 befinden. Fig. 4 zeigt das  
5 in Fig. 3 dargestellte erste Elektronenstrahlsystem 10 in perspektivischer Ansicht. Neben den Elektroden 50, 52, 54, 56 des zweiten Quadrupols ist der Emitter 38 zu erkennen. Der erste Quadrupol von Fig. 3 ist in dieser Ansicht nicht dargestellt.

10

Fig. 5 zeigt das Potential eines von einem Emitter 38 emittierten Elektronenstrahls. An der Spitze des Emitters 38 herrscht ein Potential Q1. Wenn der Elektronenstrahl aus dem Elektronenstrahlsystem  
15 austritt weist er ein Potential Q2 auf, das im Wesentlichen vom zweiten Quadrupol bestimmt wird. Der Elektronenstrahl trifft auf das zweite Substrat 16 mit einem Bremspotential auf. Diese Verzögerung der Primärelektronen bewirkt eine Beschleunigung der aus  
20 dem Substrat ausgelösten Sekundärelektronen und bremst die dort ausgelösten Ionen, so dass sie nicht die Feldemissionskathode erreichen können. In einer weiteren vorteilhaften Ausführung können die Potentialwerte Q1 und Q2 auch vertauscht sein und  
25 dennoch das Bremspotential erhalten bleiben.

In Fig. 6 ist das Elektronenstrahlsystem 10 in Draufsicht dargestellt. In dieser Darstellung sind alle Elektroden des Systems zu erkennen. Der erste Quadrupol  
30 wird durch die Elektroden 43, 44, 46, 48 und der zweite Quadrupol durch die Elektroden 50, 52, 54, 56 gebildet. Die Ansteuerung der Elektroden ist beispielhaft für die Elektrode 48 dargestellt. Sie umfasst für die Elektrode

48 eine einstellbare Spannungsquelle 60, die über ein Strom-Messgerät 62 mit der Erde verbunden ist. Über die einstellbare Spannungsquelle 62 kann das Potential der Elektrode 48 eingestellt werden. Die Elektroden 50, 52, 54 und 56 werden auch als Fänger für Sekundärelektronen verwendet. Alle Signale der Elektroden 50, 52, 54 und 56 werden mit einem Summierverstärker anstelle dem Einzelnen Strom-Messgerät pro Elektrode, wie bei 48 exemplarisch dargestellt, addiert und zur Bildauswertung verwendet. Damit kann der Aufbau des zweiten Elektronenstrahlsystems 12 auf dem zweiten Substrat 16 visuell überwacht werden, indem ein mit der x-y Ablenkung synchron laufender Schreibstrahl einer Bildwiedergaberöhre in seiner Helligkeit mit dem verstärkten Sekundärelektronensignal moduliert wird.

Fig. 7 zeigt ein Gitter 64 zur Ablenkkalibrierung von Elektronenstrahlen. Dieses Gitter 64 kann auch zur Messung des Astigmatismus durch ein Moiré-Verfahren eingesetzt werden, indem die Elektronensonde unter einem sehr kleinen Winkel zur Gittersteg-Kante geführt wird und aus der Zahl der im Sekundärelektronensignal sichtbaren Querstege auf den benötigten Weg geschlossen wird, um die Sonde ganz auf den Steg zu fahren oder ganz vom Steg zu bewegen. Die Auflösung des Verfahrens ist proportional zu  $1 / \text{Winkel}$  zwischen Sondenbewegungsrichtung und Gittersteg. Wie mit dem Gitter eine Messung und Kalibrierung des Astigmatismus erfolgt, ist in der Veröffentlichung „Metrology-Chip for Measurement of Diameter and Astigmatism of an Electron Beam with nm Resolution Using Moiré Amplification“, H.W.P. Koops, B.Hübner, M.Watanabe, Microelectronic Engineering 23 (1994) S.387-390,

genauer beschrieben. Das Gitter 64, das Quer- und  
Längsstäbe 66 bzw. 68 umfasst, ist auf einem Substrat  
angeordnet und dient im wesentlichen als  
Kalibrieremuster und Detektorfläche zur Strommessung. Es  
5 weist den in Fig. 7 rechts neben dem Gitter 64  
dargestellten Zylinder 70 auf. Der Zylinder 70, dessen  
Höhe sehr viel größer als sein Durchmesser ist, ist  
mittels Deposition erzeugt worden. Der Zylinder bildet  
einen Faraday-Käfig zur Strommessung und ist hierzu mit  
10 Leiterbahnen 72 des Gitters 64 kontaktiert.

Die in Fig. 8 dargestellte Detailansicht des Gitters 64  
zeigt, wie die Zylinder 70 im Gitter angeordnet sind.

15 Das Wachstum der Vielzahl von Elektronenstrahlssystemen  
gemäß der Erfindung ermöglicht den Einsatz vieler  
lokal, separat geführter Elektronenstrahlssysteme für  
die Fertigung mittels Elektronenstrahl-induzierter  
Deposition. Durch die Größe dieser miniaturisierten  
20 Systeme wird eine Strahldichte im Bereich von etwa 250  
 $\mu\text{m}$  und darunter als Strahlabstand längs eines  
kammförmigen Substrats erreicht. Durch Aufeinanderlegen  
von derartig mit Elektronenstrahlssystemen versehenen  
Substraten wird ein Abstand der Strahlen senkrecht zum  
25 Kamm von wiederum z.B. etwa 250  $\mu\text{m}$  erreicht, bzw. der  
die Steuerelektronik tragenden Halbleiterdicke. Das  
entspricht der Dicke eines Silizium-Wafers, aus welchen  
die Substrate mit Basis-Chips gefertigt wurden. Diese  
Strahldichte von etwa 250 x 250  $\mu\text{m}$  Abstand in einer  
30 Fläche von etwa 30 mm x 30 mm ermöglicht 1440 Strahlen,  
die zur Herstellung von eben verteilten Bauelementen,  
die mit einem derartigen Rastermaß gebraucht werden,  
eingesetzt werden.

Beispielsweise kann die Rastermatrix zur Herstellung einer Widerstandsmatrix für eine flache Kamera mit Elektronenstrahl-induzierter Deposition eingesetzt und  
5 diese in Massenproduktion hergestellt werden. Eine weitere vorteilhafte Anwendung derartiger Parallelstrahl-Systeme dient der Herstellung von Flachbildschirmen mit Elektronenquellen. Die Elektronenquellen bestehen hierbei je aus Emitter und  
10 Extraktor. Damit müssen nur zwei Drahtelektroden hergestellt werden, von welchen eine eine feine Spitze hat. Dies gilt auch für die Herstellung von Linsenarrays durch Elektronenstrahlbelichtung und anderen eben in einem Rastermaß geforderten  
15 Depositions- und Belichtungsstrukturen. Zum weiteren können derartige Systeme, da sie eigenständige Detektoren beinhalten, auch zum Vermessen von Strukturen in paralleler Anordnung der Elektronenstrahlen verwendet werden. Auf diese Weise  
20 kann der Durchsatz der Elektronenstrahlmesstechnik in der Halbleiterfertigung mit hoher Auflösung vervielfacht werden.

Zudem ist das Schreiben von  
25 Elektronenstrahlolithographiestrukturen mit viel höherer Schreibgeschwindigkeit mit einem mit dem erfindungsgemäßen Verfahren hergestellten Elektronenstrahlsystem-Array möglich, da verhindert wird, dass der Gesamtelektronenstrom durch eine Optik  
30 fließt. Bei den im Raster angeordneten Elektronenstrahlssystemen fließt dagegen der Elektronenstrahlstrom durch  $2^n$  Optiken (wenn n Generationen von Elektronenstrahlssystemen mit dem

erfindungsgemäßen Verfahren gemäß dem oben beschrieben ersten oder zweiten Verfahren hergestellt wurden).

Dadurch kann man die Schreibzeit  $t$  auf  $t/2^n$  verringern, was für die Großflächenlithographie insbesondere für

5 Nanostrukturen von großem Vorteil ist, beispielsweise beim direkten Schreiben von Masken oder Wafer-Belichtungen für die Produktion von integrierten Schaltungen.

10 Eine weitere vorteilhafte Anwendung der Vielzahl von Elektronenstrahlsystemen liegt in der Speichertechnik. Dazu werden Elektronenstrahlsysteme so aufgebaut, dass sie durch Ablenkung ihres Elektronenstrahls in einem Rasterfeld von beispielsweise etwa  $100\text{ }\mu\text{m} \times 100\text{ }\mu\text{m}$  die  
15 Speicherelemente, zum Beispiel elektrische oder magnetische Speicherzellen-Elemente von etwa  $30\text{ nm}$  Durchmesser herstellen und auch ansprechen können. Durch geeignete Auswertung der Strahl-Antwort in Form von rückgestreuten oder gespiegelten Elektronen kann  
20 der Speicherzelleninhalt gelesen und eine Speicherung der Information ohne die Verwendung beweglicher Teile ermöglicht werden. In der Fläche von etwa  $100\text{ }\mu\text{m} \times 100\text{ }\mu\text{m}$  können sich beispielsweise 9 Millionen Speicherzellen befinden. Mit z.B. 1000 parallel  
25 arbeitenden Elektronenstrahlsystemen, die mit dem erfindungsgemäßen Verfahren hergestellt wurden, wären 9 Gbit ansprechbar. Zudem kann durch die Verwendung von parallel arbeitenden Schreib- und Lesestrahlen die Datenübertragungsrate gegenüber herkömmlichen  
30 Speichersystemen wie beispielsweise DRAM-Chips oder auch Festplatten erhöht werden. Gleichzeitig wird der Einsatz mechanisch bewegter Teile vermieden, was die Zuverlässigkeit der Anordnung erhöht.



5

# B E Z U G S Z E I C H E N L I S T E

10	10-10 <sup>11</sup>	erste Elektronenstrahlssystem
	12-12 <sup>11</sup>	zweite Elektronenstrahlssysteme
	14	erstes Substrat
	16	zweites Substrat
	18-18 <sup>11</sup>	freie Flächen
15	20	Rechner
	22, 24	Piezoelemente
	26	Schaltungselemente
	28	Verdrahtungselemente
	30	Elektronenstrahlssystem
20	32	Fläche
	34	Anschlusspunkte
	36	Objekt
	38	Emitter
	40	Linsensystem
25	42	Extraktor-Linse
	43	Elektrode des ersten Quadrupols (Extraktor-Linse)
	44	Elektrode des ersten Quadrupols (Extraktor-Linse)
30	46	Elektrode des ersten Quadrupols (Extraktor-Linse)
	48	Elektrode des ersten Quadrupols (Extraktor-Linse)
	50	Elektrode des zweiten Quadrupols
35		(Fokusier- und Ablenk-Linse)

	52	Elektrode des zweiten Quadrupols (Fokusier- und Ablenk-Linse)
	54	Elektrode des zweiten Quadrupols (Fokusier- und Ablenk-Linse)
5	56	Elektrode des zweiten Quadrupols (Fokusier- und Ablenk-Linse)
	58	Gaspartikel
	60	einstellbarer Spannungsquelle
	62	Strom-Messgerät
10	64	Gitter
	66	Querstäbe
	68	Längsstäbe
	70	Zylinder (Faraday-Käfig)
	72	Leiterbahn
15		

5

# PATENTANSPRÜCHE

- 10            1. Verfahren zur Herstellung von  
Korpuskularstrahlssystemen (10-10<sup>1111</sup>, 12-12<sup>11</sup>),  
bei dem auf einem ersten Substrat (14)  
mindestens ein erstes Korpuskularstrahlssystem  
(10) mittels korpuskularstrahlinduzierter  
15            Deposition **dadurch gekennzeichnet**, dass auf  
mindestens einem zweiten Substrat (16)  
mindestens ein zweites Korpuskularstrahlssystem  
(12) von dem mindestens einen ersten  
Korpuskularstrahlssystem (10) mittels  
20            rechnergeführter korpuskularstrahlinduzierter  
Deposition erzeugt wird, anschliessend auf dem  
ersten Substrat (14) mindestens ein weiteres  
erstes Korpuskularstrahlssystem (10<sup>1</sup>) von dem  
mindestens einen zweiten  
25            Korpuskularstrahlssystem (12) mittels  
rechnergeführter korpuskularstrahlinduzierter  
Deposition erzeugt wird.
- 30            2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch**  
**gekennzeichnet**, dass abwechselnd erste und  
zweite Korpuskularstrahlssysteme (12<sup>1</sup>, 12<sup>11</sup>,  
10<sup>11</sup>, 10<sup>111</sup>, 10<sup>1111</sup>) von den bereits auf den  
Substraten (14, 16) existierenden zweiten bzw.  
ersten Korpuskularstrahlssystemen erzeugt  
35            werden.

3. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet**, dass das erste und das zweite Substrat (14, 16) derart zueinander versetzt angeordnet werden, dass den auf einem Substrat (14) bereits existierenden Korpuskularstrahlssystemen (10-10<sup>''''</sup>) freie Flächen (18-18<sup>''''</sup>) des anderen Substrats (16) gegenüberliegen, so dass die Korpuskularstrahlssysteme (10-10<sup>''''</sup>) des einen Substrats (14) Korpuskularstrahlssysteme auf den freien Flächen (18-18<sup>''''</sup>) des anderen Substrats (16) erzeugen können.
4. Verfahren nach Anspruch 3, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Substrate (14, 16) von einem Rechner (20) gesteuert positioniert werden.
5. Verfahren nach Anspruch 3 oder 4, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Substrate (14, 16) mittels Piezoelementen (22, 24) zueinander positioniert werden.
6. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass jedes Korpuskularstrahlssystem (10-10<sup>''''</sup>, 12-12<sup>''</sup>) nach seiner Erzeugung elektrisch getestet wird.
7. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass vor der Erzeugung von Korpuskularstrahlssystemen auf den Substraten Schaltungselemente (26), insbesondere Verdrahtungselemente (28) erzeugt werden, mit denen Korpuskularstrahlssysteme

zumindest teilweise elektrisch verbunden werden.

- 5            8. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass Korpuskularstrahlssysteme auf Anschlusspunkten (34), die auf einem Substrat (14) vorgesehen sind, erzeugt werden.
- 10           9. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass Korpuskularstrahlssysteme auf einem Substrat kammartig nebeneinander angeordnet werden.
- 15           10. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass erste und/oder zweite Korpuskularstrahlssysteme eine Bildauswertung von Bildsignalen, die durch Rasterung erzeugt werden, durchführen.
- 20           11. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass sowohl Fokussierung, Stigmatisierung und Ablenkung eines Korpuskularstrahls in einem automatischen
- 25           Ablauf erfolgen und für jedes Korpuskularstrahlssystem eine individuelle Fokussierung durchgeführt wird.
- 30           12. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Deposition mit rechnergeführter Ionenstrahl-induzierter oder Elektronenstrahl-induzierter Deposition durchgeführt wird.

13. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Deposition für das erste herzustellende Korpuskularstrahlssystem mit rechnergeführter rastersondenmikroskopischer Deposition mit  
5       Niederspannung von etwa 100 V bis etwa 40 kV erfolgt.
14. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Korpuskularstrahlssysteme in Gruppen von einem Steuersystem umfassend eine Steuer- und Programmierelektronik angesteuert und kontrolliert werden.  
10
15. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Korpuskularstrahlssysteme bis zu einer bestimmten Anzahl vollständig konfiguriert  
15       aufgebaut und dann durch geeignete Zuführung von Gasen zum Aufbau weiterer Korpuskularstrahlssysteme als parallel arbeitende Blöcke von Korpuskularstrahlssystemen verwendet werden.  
20
16. Verfahren nach Anspruch 15, **dadurch gekennzeichnet**, dass Einzelkämme von Korpuskularstrahlssystemen reproduziert und zu Fertigungssystemen zusammengesetzt und  
25       konfiguriert werden.  
30
17. Verfahren nach Anspruch 15 oder 16, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Blöcke gemeinsam

produziert werden, ohne dass sie weiterhin zusammengesetzt werden müssen.

18. Verfahren nach einem der vorangehenden  
5 Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die  
Korpuskularstrahlssysteme (siehe Figuren 3 bis  
6) mit ihren Strahlachsen etwa senkrecht zur  
Oberfläche des Substrats angeordnet sind.
- 10 19. Vorrichtung zur Herstellung von  
Korpuskularstrahlssystemen (10-10''''', 12-12'''),  
mit einem ersten Substrat (14), wobei sich auf  
dem ersten Substrat (14) mindestens ein mittels  
rechnergeführter Korpuskularstrahl-induzierter  
15 Deposition erzeugtes erstes  
Korpuskularstrahlssystem (10-10''''') befindet,  
**dadurch gekennzeichnet**, dass mindestens ein  
zweites Substrat vorgesehen ist, das erste und  
das mindestens zweite Substrat (14, 16) derart  
20 zueinander versetzt angeordnet sind, dass den  
auf einem Substrat (14) bereits existierenden  
Korpuskularstrahlssystemen (10-10''''') freie  
Flächen (18-18''''') des anderen Substrats (16)  
gegenüberliegen, so dass die  
25 Korpuskularstrahlssysteme (10-10''''') des einen  
Substrats (14) Korpuskularstrahlssysteme auf den  
freien Flächen (18-18''''') des anderen  
Substrats (16) erzeugen können.
- 30 20. Vorrichtung nach Anspruch 19, **gekennzeichnet**  
**durch** einen Rechner (20), der programmtechnisch  
eingerichtet ist, um die Anordnung der  
Substrate (14, 16) zu steuern.

21. Vorrichtung nach Anspruch 20, **gekennzeichnet**  
durch Piezoelemente (22, 24) an den Substraten  
(14, 16), um diese rechnergeführt und nach  
Bildauswertung der Abbildung der freien  
Fußpunkte zueinander zu positionieren.
22. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 19 bis 21,  
**gekennzeichnet durch** Testmittel, wie  
Bildwiedergabe, elektrische Strom- und  
Sekundärelektronendetektion und Anzeige, und  
andere Anzeigen, die zum Testen jedes  
Korpuskularstrahlsystems (10-10<sup>''''</sup>, 12-12<sup>''</sup>)  
auf den Substraten (14, 16) ausgebildet sind.
23. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 19 bis 22,  
**dadurch gekennzeichnet**, dass das erste und  
zweite Substrat (14, 16) ein Halbleiter,  
insbesondere Silizium ist.
24. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 19 bis 22,  
**dadurch gekennzeichnet**, dass das erste und  
zweite Substrat (14, 16) ein Nichtleiter,  
insbesondere Glas, Keramik oder Quarz ist.
25. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 19 bis 24,  
**dadurch gekennzeichnet**, dass das Substrat  
Schaltungselemente (26), insbesondere  
Verdrahtungselemente (28) aufweist, mit denen  
Korpuskularstrahlsysteme zumindest teilweise  
elektrisch verbunden sind.
26. Vorrichtung nach Anspruch 25, **dadurch**  
**gekennzeichnet**, dass die Schaltungselemente  
insbesondere rechnergesteuerte  
Korpuskularstrahlstromregler, Heizstromregler,



Korpuskularstrahlablenkverstärker,  
Blendenablenkverstärker, Rastergenerator,  
Funktionsgenerator mit Speicher,  
Linseneinstellmittel,  
5 Linsenspannungsverstärker,  
Bildsignalverstärker, Astigmatismus-  
Spannungsverstärker und/oder  
Ablenkungsspannungsverstärker umfassen.

10 27. Vorrichtung nach Anspruch 25 oder 26, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Schaltungselemente insbesondere Rechner-Bausteine wie Zentraleinheit, Rechen-Speicher, Puffer-Speicher, Datenspeicher, und in  
15 Hardwaregespeicherte Routinen ausführende Schaltungen sind, die zur Reproduktion der Systeme, der Bilderfassung und Auswertung und zur Herstellung spezieller neuartiger Systeme benötigt werden und diese ermöglichen.

20 28. Vorrichtung nach Anspruch 27, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Schaltungselemente die zur Reproduktion der Systeme, der Bilderfassung und Auswertung und zur Herstellung spezieller  
25 neuartiger Systeme benötigt werden und diese ermöglichen im Multiplex-verfahren auf die einzelnen fertigenden Korpuskularstrahlssysteme zu deren Steuerung sequentiell aufgeschaltet werden können.

30 29. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 19 bis 28, **dadurch gekennzeichnet**, dass ein Substrat mindestens eine Fläche (32) mit einer Breite von etwa 2  $\mu\text{m}$  bis etwa 2500  $\mu\text{m}$  und einer Länge

von etwa 10  $\mu$ m bis zu etwa 100 mm für ein  
Korpuskularstrahlsystem (30) aufweist.

- 5           30. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 19 bis 29,  
            **dadurch gekennzeichnet**, dass ein Substrat (14)  
            Anschlusspunkte (34) für  
            Korpuskularstrahlsysteme aufweist.
- 10           31. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 19 bis 30,  
            **dadurch gekennzeichnet**, dass  
            Korpuskularstrahlsysteme auf einem Substrat  
            kammartig nebeneinander angeordnet sind.
- 15           32. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 19 bis 31,  
            **dadurch gekennzeichnet**, dass mindestens ein  
            erstes und mindestens ein zweites  
            Korpuskularstrahlsystem mit Mess- und  
            Stabilisatorschaltungen versehen sind, die zum  
            Messen und Stabilisieren von  
20           Korpuskularstrahlung dienen.
33. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 19 bis 32,  
            **dadurch gekennzeichnet**, dass Schaltungselemente  
            vorgesehen sind, welche die  
25           Korpuskularstrahlsysteme mit Spannung und Strom  
            versorgen und mittels Speicher programmierbar  
            und einstellbar sind.
- 30           34. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 19 bis 33,  
            **dadurch gekennzeichnet**, dass die  
            Korpuskularstrahlsysteme mit Mitteln versehen  
            sind, die zum Ausführen eines automatisierten  
            Prüfverfahrens ausgebildet sind, welches die  
            Funktionsfähigkeit und Stabilität der Strahlung

und der Bildaufnahme und Bildauswertung  
gewährleistet.

- 5           35. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 19 bis 34,  
            **dadurch gekennzeichnet**, dass die  
            Korpuskularstrahlsysteme mit bildanzeigenden  
            Mitteln verbunden sind, wie einem Bildschirm  
            oder Großbildschirm mit entsprechender  
10           Bildaufteilung für die einzelnen  
            Korpuskularstrahlsysteme, so dass die Arbeit  
            des Systems überwacht und sein Ergebnis für  
            anderweitige Weiterverwendung zur Verfügung  
            gestellt werden kann.
- 15           36. Vorrichtung nach Anspruch 35, **dadurch ge-**  
            **kennzeichnet**, dass die bildanzeigenden Mittel  
            dateninformationsreduzierende Routinen  
            aufweisen, um die Überwachung zu unterstützen,  
            und die gewährleisten, dass im Wesentlichen nur  
20           Fehler gespeichert werden müssen.
37. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 19 bis 36,  
            **dadurch gekennzeichnet**, dass die  
            Korpuskularstrahlsysteme Elektronenquellen oder  
25           Gas- oder Flüssigkeitsionenquellen aufweisen.
38. Verwendung eines Verfahrens nach einem der  
            Ansprüche 1 bis 18 und/oder einer Vorrichtung  
            nach einem der Ansprüche 19 bis 37 zur  
30           Herstellung von ebenen verteilten Bauelementen,  
            insbesondere einer Widerstandsmatrix für eine  
            flache Kamera, eines Flachbildschirms mit  
            Korpuskularstrahlquellen, von Linsenarrays, von  
            Hochstrom-Emitter-Arrays mit niedriger

Schaltspannung zur Steuerung des Stromes, von  
mikro-Elektronenröhren aller Arten und einer  
Schreib-/Leseanordnung für einen Speicher.

5

5

## Z U S A M M E N F A S S U N G

- 10 Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Herstellung  
von Korpuskularstrahlssystemen (10-10<sup>1111</sup>, 12-12<sup>11</sup>),  
bei dem auf einem ersten Substrat (14) mindestens ein  
erstes Korpuskularstrahlssystem (10-10<sup>1111</sup>) mittels  
Rechnergeführter korpuskularstrahlinduzierter  
15 Deposition und auf mindestens einem zweiten Substrat  
(16) mindestens ein zweites Korpuskularstrahlssystem  
(12-12<sup>11</sup>) von dem mindestens einen ersten  
Korpuskularstrahlssystem (10-10<sup>1111</sup>) mittels  
Rechnergeführter korpuskularstrahlinduzierter  
20 Deposition erzeugt wird. Mit dem erfindungsgemäßen  
Verfahren können eine Vielzahl von  
Korpuskularstrahlssystemen in relativ kurzer Zeit  
produziert werden.
- 25 (Fig. 1)